

**BEST AVAILABLE COPY**

**Production of water-in-oil fuel emulsions, especially for use in internal combustion engines, comprises splitting a water stream into separate lamellae and introducing the lamellae into a diesel oil stream**

**Patent number:** DE19917156

**Publication date:** 2000-10-26

**Inventor:** EHRFELD WOLFGANG (DE); SCHIEWE JOERG (DE);  
HESSEL VOLKER (DE)

**Applicant:** INST MIKROTECHNIK MAINZ GMBH (DE)

**Classification:**

**- International:** *B01F3/08; B01F5/06; B01F13/00; B01F3/08; B01F5/06; B01F13/00*; (IPC1-7): B01F3/08; B01F5/04; F02M25/022

**- european:** B01F3/08F1; B01F5/06B2B; B01F13/00M; F02M25/02B

**Application number:** DE19991017156 19990416

**Priority number(s):** DE19991017156 19990416

**Also published as:**



WO0062914 (A1)

EP1183094 (A1)

**Report a data error here**

**Abstract of DE19917156**

Process (I) for producing an emulsion of water in diesel oil for use as a fuel, comprises splitting a liquid water stream into separate fluid lamellae with a thickness of less than 100  $\mu\text{m}$  and introducing the lamellae into a diesel oil stream so that the lamellae fragment into droplets. Independent claims are also included for the following: (1) use of process (I) to produce a fuel emulsion using a liquid other than water, the liquid being immiscible with diesel oil; (2) use of process (I) to produce a fuel emulsion using a liquid fuel other than diesel oil.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 17 156 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 01 F 3/08**  
B 01 F 5/04  
F 02 M 25/022

⑲ Aktenzeichen: 199 17 156.4  
⑳ Anmeldetag: 16. 4. 1999  
㉔ Offenlegungstag: 26. 10. 2000

DE 199 17 156 A 1

⑦1 Anmelder:  
Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH, 55129 Mainz,  
DE

⑦2 Erfinder:  
Ehrfeld, Wolfgang, Prof. Dr., 55124 Mainz, DE;  
Schiewe, Jörg, Dr., 55129 Mainz, DE; Hessel, Volker,  
Dr., 65510 Hünstetten, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 195 40 292 C1  
DE 44 14 488 C1  
DE 197 03 779 A1  
DE 196 12 349 A1  
DE 44 08 392 A1  
DE 39 26 466 A1  
DE 39 12 344 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung einer Wasser-in-Dieselöl-Emulsion als Kraftstoff sowie dessen Verwendungen

DE 199 17 156 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Wasser-in-Dieselöl-Emulsion als Kraftstoff sowie Verwendungen dieses Verfahrens.

Die Verwendung von Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen als Kraftstoff zur Herabsetzung der Verbrennungstemperatur und damit zur Reduktion des Ruß- und Stickoxidanteils im Abgas ist bekannt. Weiterhin ist bekannt, daß die rasche Verdampfung von Wassertröpfchen im Verbrennungsraum zu einer Vergrößerung der Oberfläche der Dieselöl-Tröpfchen und damit einer Erhöhung der spezifischen Leistung führt. Solche Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen weisen feinste Wasser-Tröpfchen in einer kontinuierlichen Phase in Dieselöl auf. Gewünscht sind hierbei möglichst feindisperse Systeme, d. h. eine möglichst enge Größenverteilung der Wasser-Tröpfchen.

Im Stand der Technik werden unterschiedliche Verfahren zur Herstellung solcher Emulsionen genannt. So wird ein Einspritzen von Wasser in eine rotationssymmetrische Wirbelkammer in den DE 44 08 392 A1, DE 44 14 488 C1 sowie der EP 0 392 545 A1 beschrieben. In der DE 43 41 038 A1 wird die Verwendung einer Emulsionsturbine vorgeschlagen. Diese Verfahren erfordern jedoch eine Zufuhr zumindest des Wassers mit hohem Druck und/oder bewegbare Teile, die damit einem Verschleiß unterliegen.

Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur Herstellung einer Wasser-in-Dieselöl-Emulsion als Kraftstoff, das keine konstruktiv aufwendigen Vorrichtungen, insbesondere keine beweglichen Teile, bedarf, mit dem eine schnelle Änderung der Zusammensetzung der Emulsion und eine enge Wassertröpfchengrößenverteilung erzielt werden kann. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung Verwendungen des Verfahrens aufzuzeigen.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß im ersten Schritt ein Wasser-Flüssigkeitsstrom in räumlich getrennte Wasser-Fluidlamellen einer Breite  $< 100 \mu\text{m}$  aufgespalten wird. Anschließend werden diese Wasser-Fluidlamellen in mindestens einen Dieselöl-Flüssigkeitsstrom geleitet, wobei eine Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen in Wassertröpfchen stattfindet.

Bei der Aufspaltung des Wasser-Flüssigkeitsstroms sind keine beweglichen Teile erforderlich. Hierfür eignen sich beispielsweise miniaturisierte statische Mischer mit kapillarartigen Kanälen einer Breite  $< 100 \mu\text{m}$ , wie sie beispielsweise in V. Hessel, et al., Gas/Liquid Dispersion Processes in Micromixers: The Hexagonal Flow, in Process Miniaturization: 2nd International Conference on Microreaction Technology, New Orleans, 1998 sowie W. Ehrfeld et al., Anwendungspotentiale chemischer und biologischer Mikroreaktoren, in Jahrbuch 1997 - Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, VDI-GVC 1997 beschrieben werden. Mittels solcher miniaturisierten Mischer konnten auch stabile gerahmte Emulsionen speziell aus Silikonöl mit Wasser oder einer wäßrigen Farbstofflösung erzeugt werden (V. Hessel, et al., Mehrphasenprozesse in Mikroreaktoren - Konzept, Systeme und Charakterisierung, in Chemie Ingenieur Technik 1998, 9, 1074 sowie W. Ehrfeld, et al., Mikroreaktoren - eine Herausforderung für die Verfahrenstechnik in Chemie und Biotechnologie, in GIT Labor-Fachzeitschrift 1998, 4, 346-350). Hierbei wurde das Prinzip der Multilamination ausgenutzt, bei dem die Fluidströme jeweils in eine Vielzahl von Teilströmen aufgespalten werden und die abwechselnd nebeneinander angeordnet werden. Der Einsatz des Prinzips der Multilamination bzw. von miniaturisierten statischen Mixern zur Herstellung von Kraftstoff-Emulsionen, insbesondere von Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen, ist jedoch nicht bekannt.

In den bekannten Experimenten mit Mikromischern wurden Wasser-Silikonöl-Emulsionen in Volumenverhältnissen von 1 : 1 bis 35 : 1 genau charakterisiert. Der Grund für die Beschränkung auf Volumenverhältnisse größer als 1 : 1 lag darin, daß bei einem Überschuß an Silikonöl im Vergleich zu Wasser keine gewünschten feindispersen Systeme erhalten wurden. Vielmehr erhielt man Silikonöl-Tröpfchen mit einer unerwünscht sehr breiten Größenverteilung, die in einer kontinuierlichen Phase aus Wasser vorlagen. In all diesen Experimenten wurde kein feindisperses System von Wassertröpfchen in einer kontinuierlichen Silikonöl-Phase erhalten.

Darüber hinaus erfolgten die Experimente zur Herstellung von Silikonöl-Wasser-Emulsionen unter statischen Bedingungen. Eine rasche Änderung der Zusammensetzung der erhaltenen Emulsionen wurde nicht angestrebt.

Ausgehend von dieser vorliegenden experimentellen Erfahrung wären bei einer Übertragung auf ein System aus Wasser und Dieselöl eine Emulsion von Dieselöl-Tröpfchen in einer kontinuierlichen Wasser-Phase zu erwarten gewesen, die eine sehr breite Größenverteilung aufweist. Damit wäre die Verwendung von Mikromischern zur Herstellung von als Kraftstoff geeigneten Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen völlig ungeeignet gewesen.

Hieraus war es nun gänzlich unerwartet und völlig überraschend, mit bekannten Mikromischern eine Emulsion von Wassertröpfchen in einer kontinuierlichen Phase von Dieselöl auch bei einem Volumenverhältnis von Wasser zu Dieselöl von kleiner als 1 : 1 erhalten. Zudem erwies sich die erhaltene Emulsion als feindispers, d. h. es wurden im Gegensatz zu den Silikonöl-Wasser-Systemen eine wesentlich engere Größenverteilung erhalten. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, daß mit solchen Mikrovermischem ein rascher Wechsel der Emulsionszusammensetzung bei Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen erzielt werden kann, was bei einem Einsatz im Bereich von Verbrennungskraftmaschinen mit wechselnder Last erforderlich ist.

Um ein Verstopfen von kapillarartigen Kanälen bei miniaturisierten statischen Mixern zu vermeiden, kann es von Vorteil sein, ein vorgereinigtes, beispielsweise gefiltertes Dieselöl zu verwenden. Hierbei kann es ebenfalls von Vorteil sein, die Emulgiervorrichtung zu temperieren, insbesondere bei Außentemperaturen von unter  $0^\circ\text{C}$ , um beispielsweise ein Ausflocken von Bestandteilen des Dieselöls zu verhindern.

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens können Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen einfach, d. h. ohne aufwendige Vorrichtungen und ohne bewegbare Teile, erhalten werden. Das Verfahren kann damit in unmittelbarer Nähe zum Verwendungsort, beispielsweise einer Verbrennungskraftmaschine oder eines Ölbrenners, eingesetzt werden. Hierfür ist es weiterhin von großem Vorteil, daß die Zusammensetzung der Emulsion mittels dieses Verfahrens rasch, d. h. ohne wesentliche zeitliche Verzögerung, an die im jeweiligen Lastzustand optimale Zusammensetzung angepaßt werden kann. Hierzu ist einfach der Volumenstrom des Wasser-Flüssigkeitsstroms im Verhältnis zum Dieselöl-Flüssigkeitsstrom einzustellen. Daher bedarf es nach diesem Verfahren auch keines Vorspeichers, in dem die Emulsion vor der Verbrennung zwischengespeichert wird.

Nach einer bevorzugten Variante wird auch der Dieselöl-Flüssigkeitsstrom vor dem Einleiten der Wasser-Fluidlamel-

len in Fluidlamellen einer Breite  $< 1$  mm aufgespalten, wobei jeweils eine Wasser-Fluidlamelle mit jeweils mindestens einer Dieselöl-Fluidlamelle zusammengeführt wird. Dies ermöglicht beispielsweise ein gezieltes Zusammenführen einzelner Wasser- und Dieselöl-Fluidlamellen. So kann es vorteilhaft sein, jeweils eine Wasser-Fluidlamelle sowie mindestens eine Dieselöl-Fluidlamelle in einen gemeinsamen Kanal zu leiten. Hierbei wird jeweils ein Wasser-in-Dieselöl-Emulsionsteilstrom gebildet. Die Emulsionsteilstrome werden zu einem Emulsionsstrom zusammengeführt.

Vorteilhaft werden mehrere Wasser-Fluidlamellen und mehrere Dieselöl-Fluidlamellen derart gemeinsam in einen Raum geleitet, daß jeweils eine Wasser-Fluidlamelle benachbart mit mindestens einer Dieselöl-Fluidlamelle in diesen Raum austritt. Die Fluidlamellen können derart schachbrettartig zueinander versetzt in den Raum geleitet werden, daß jede Wasser-Fluidlamelle von beispielsweise vier Dieselöl-Fluidlamellen umgeben ist und umgekehrt. Die resultierende Emulsion wird kontinuierlich aus dem Raum abgeleitet. Hierfür geeignete miniaturisierte Mischer werden beispielsweise in der EP 0 758 918 B1 zur Durchführung chemischer Reaktionen beschrieben.

Die Strömungsrichtung einer Wasser-Fluidlamelle kann im wesentlichen gleichgerichtet mit oder entgegengerichtet der Strömungsrichtung des Dieselöl-Flüssigkeitsstroms bzw. der Dieselöl-Fluidlamelle sein, in den bzw. die die Wasser-Fluidlamelle geleitet wird. Es ist jedoch auch denkbar, eine Wasser-Fluidlamelle in einem Winkel von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  dem Dieselöl-Flüssigkeitsstrom bzw. der Dieselöl-Fluidlamelle zuzuleiten.

Sind die Strömungsrichtungen im wesentlichen entgegengerichtet zueinander, so wird der resultierende Wasser-in-Dieselöl-Emulsionsstrom bevorzugt im wesentlichen senkrecht zu den beiden Strömungsrichtungen abgeleitet. Hierfür besonders geeignete Mikromischer werden beispielsweise beschrieben in: V. Hessel et al., Potentials and Realisation of Microreactors, Proc. of Internat. Symposium of Microsystems, Intelligent Materials and Robots, Sendai, Japan, Sept. 1995 sowie V. Hessel, et al., Characterization of mixing in micromixers by a test reaction: Single mixing units and mixer arrays, Industrial and Engineering Chemistry Research 1999, (38) 3, 1075–1082.

Bevorzugt sind Breiten der Dieselöl-Fluidlamellen  $< 500 \mu\text{m}$ , vorzugsweise  $< 100 \mu\text{m}$ . Je kleiner die Breiten der Dieselöl-Fluidlamellen, desto enger benachbart können die Wasser-Fluidlamellen, jeweils beabstandet durch mindestens eine Dieselöl-Fluidlamelle, eingeleitet werden. Dies ermöglicht es, unter Beibehaltung kleiner Wasser-Tröpfchengrößen ein großes Volumenverhältnis Wasser zu Dieselöl zu erzielen.

Bevorzugt wird nach dem Verfahren eine Wasser-in-Dieselöl Emulsion erhalten, die eine mittlere Größe der Wassertröpfchen im Bereich von  $0,1 \mu\text{m}$  bis  $50 \mu\text{m}$ , besonders bevorzugt im Bereich von  $0,5 \mu\text{m}$  bis  $15 \mu\text{m}$ , aufweist. Solche Emulsionen weisen vorteilhaft eine Standardabweichung der Wassertröpfchengrößen  $< 10 \mu\text{m}$ , insbesondere  $< 5 \mu\text{m}$  auf. Besonders vorteilhaft beträgt die Standardabweichung kleiner gleich der mittleren Größe der Wassertröpfchen in  $\mu\text{m}$ .

Für solche Emulsionen wird die Breite der Wasser-Fluidlamellen bevorzugt  $< 50 \mu\text{m}$ , besonders bevorzugt  $< 10 \mu\text{m}$ , gewählt.

Während eine möglichst kleine Breite der Wasser-Fluidlamellen bevorzugt wird, ist eine bevorzugte Höhe der Wasser- oder/und Dieselöl-Fluidlamellen größer gleich der Breite der Wasser- bzw. Dieselöl-Fluidlamellen, besonders bevorzugt  $> 250 \mu\text{m}$ . Aufgrund der im Vergleich zur Breite größeren Höhe kann bei im wesentlichen gleicher Tröpfchengrößenverteilung ein größerer Stoffdurchsatz erzielt werden.

Zur Erzeugung von Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen als Kraftstoff ist das Volumenverhältnis des Wasser-Flüssigkeitsstroms zum Dieselöl-Flüssigkeitsstrom entsprechend dem zu erzielenden Wasser-zu-Diesel-Verhältnis einzustellen. Bevorzugt ist der Bereich von  $1 : 1000$  bis  $1 : 1$ , besonders bevorzugt im Bereich von  $1 : 500$  bis  $1 : 3$ .

Die Fragmentation und damit die Tröpfchengrößenverteilung kann durch die Wahl des Gesamtvolumenflusses und der Volumenflüsse des Dieselöl- und Wasser-Flüssigkeitsstroms gezielt beeinflusst werden. Zur Erzielung einer gleichmäßigen Fragmentation wird der Volumenfluß einer Wasser-Fluidlamelle bevorzugt im Bereich von  $150$  bis  $0,1 \text{ ml/h}$ , besonders bevorzugt im Bereich von  $75$  bis  $15 \text{ ml/h}$ , gewählt.

Die Herstellung der Emulsion erfolgt bevorzugt in einem Temperaturbereich von  $0^\circ\text{C}$  bis  $100^\circ\text{C}$ , besonders bevorzugt von  $0^\circ\text{C}$  bis  $60^\circ\text{C}$ . Der Druck des Wasser- oder/ und Dieselöl-Flüssigkeitsstromes liegt bevorzugt im Bereich von  $0$  bis  $30 \text{ bar}$ , besonders bevorzugt von  $1$  bis  $15 \text{ bar}$ .

Die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen zu Wassertröpfchen kann durch unterschiedliche Methoden unterstützt werden.

Nach einer Methode werden hierzu mechanische Schwingungen, insbesondere Ultraschall, angewendet. Die allgemeine Idee, in einer Emulgationsvorrichtung zum Emulgieren von Kohlenwasserstoffen mit Wasser zu Verbrennungszwecken Ultraschallwellen einzusetzen ist aus der DE 195 44 554 A1 bekannt, die jedoch keinerlei Angaben zur konstruktiven Gestaltung der Vorrichtung oder zur Durchführung des Verfahrens enthält.

So kann die gesamte Vorrichtung, in der der Wasserflüssigkeitsstrom mit dem Dieselöl-Flüssigkeitsstrom zusammengebracht wird, mit Ultraschall beaufschlagt werden.

Nach einer Verfahrensvariante werden zumindest Bereiche des Dieselöl-Flüssigkeitsstroms, der Wasser-Fluidlamellen oder/und der Dieselöl-Fluidlamellen oder/und der Wasser-in-Dieselöl-Emulsion mechanisch mit Schwingung beaufschlagt. Besonders bevorzugt wird das Teil eines Mikrovermischers mit Schwingungen beaufschlagt, in dem die Bildung der Fluidlamellen erfolgt oder/und in dem die Wasser-Fluidlamellen mit dem Dieselöl-Flüssigkeitsstrom oder den Dieselöl-Fluidlamellen zusammengeführt werden.

Bevorzugt erfolgt die mechanische Auslenkung als periodische Auslenkung parallel oder senkrecht zur Strömungsrichtung der Fluidlamellen des Wassers oder/und des Dieselöls.

Die Frequenz der mechanischen Schwingungen wird bei gegebener Strömungsgeschwindigkeit des Wasser-Flüssigkeitsstroms und/oder Dieselöl-Flüssigkeitsstroms im Hinblick auf die zu erzielende Teilchengröße gewählt. Dies ist dahingehend möglich, daß durch die mechanische Schwingung der Vorgang der Fragmentation gezielt eingeleitet wird. Hierdurch wird zum einen bei gegebener Schwingungsfrequenz eine enge Verteilung der Wassertröpfchengrößen erzielt, zum anderen kann mit Erhöhung oder Erniedrigung der Schwingungsfrequenz das Maximum der Tröpfchengrößenverteilung hin zu kleineren bzw. größeren Werten verschoben werden. Dies ist von besonderem Vorteil bei der raschen Einstellung der Emulsion an die wechselnden Anforderungen bei Verbrennungskraftmaschinen.

Bevorzugt sind mechanische Schwingungen im Frequenzbereich von  $1 \text{ kHz}$  bis  $100 \text{ kHz}$ , besonders bevorzugt im Be-

reich von 10 kHz bis 50 kHz.

Nach einer zweiten Methode wird die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen durch das Anlegen eines elektrischen Feldes unterstützt. Hierzu kann beispielsweise an den den Emulsionsstrom aufnehmenden Bereich als Elektrode gegenüber den die Fluidlamellen bildenden Bereich als Gegenelektrode eine Spannung angelegt werden. Hierbei sind bekannte Techniken zur elektrostatischen Zerstäubung von Flüssigkeiten einsetzbar (H. Wiggers und P. Walzel, Chemie Ingenieur Technik 1997, (69) 8, 1066-1073).

Nach einer dritten Methode wird die Fragmentation durch Einleiten eines Gases unterstützt. Das Gas kann hierzu dem Wasser-Fluidstrom, dem Dieselöl-Fluidstrom, den entsprechenden Fluidlamellen oder/ und der Wasser-in-Dieselöl-Emulsion zugeleitet werden. Im einfachsten Fall ist das Gas gegebenenfalls gereinigte Luft. Die so erhaltene Dispersion aus Wasser, Dieselöl und Gas kann als Kraftstoff verwendet werden. Es ist jedoch auch möglich, vorher das Gas wieder zumindest teilweise abzutrennen. Zum Zuführen eines Gases, also zum Herstellen von Gas-Flüssigkeits-Dispersionen können bekannte miniaturisierte statische Mischer und bekannte Verfahren eingesetzt werden (V. Hessel, et al., Gas/Liquid Dispersion Processes in Micromixers: The Hexagonal Flow, in Process Miniaturization: 2nd International Conference on Microreaction Technology, 1998, New Orleans).

Ein Gas kann jedoch innerhalb des Wasser- oder/und Dieselöl-Flüssigkeitsstroms dadurch erzeugt werden, daß im Bereich des Mischers die Temperatur so erhöht wird, daß eine leicht flüchtige Komponente der Flüssigkeitsströme zu sieden beginnt und damit Gasblasen in der Flüssigkeit erzeugt werden. Es ist auch denkbar hierzu einem Flüssigkeitsstrom eine leicht flüchtige Flüssigkeit, beispielsweise einen kurzkettigen Kohlenwasserstoff, hinzuzugeben. Die zugemischte Flüssigkeit bzw. deren Gas kann als Bestandteil des Kraftstoffs mit zur Verbrennung beitragen. Es kann sich jedoch auch um einen inerten Stoff handeln, der beispielsweise nach der Erzeugung der Emulsion abgetrennt wird.

Zur Stabilisierung der zu erzeugenden Emulsion kann es vorteilhaft sein, dem Wasser- oder Dieselöl-Flüssigkeitsstrom mindestens ein die Emulsion stabilisierenden Stoff hinzuzugeben. Vorzugsweise beträgt das Volumenverhältnis Emulgator zu Emulsion bis zu 1 : 10, besonders bevorzugt 1 : 5000 bis 1 : 20. Geeignete Emulgatoren sind beispielsweise Polyethylenoxide und deren Derivate, beispielsweise Monoether, Polyethylen-Propylen-Copolymere, Naphthensäure und deren Salze, Fettsäuren und deren Salze, Fettalkohole, Alkylsulfate, Alkylsulfonate, Alkylsulfite oder deren Kombinationen.

Bei Temperaturen unterhalb 0°C besteht die Gefahr, daß ein Zuleiten von Wasser durch Kristallbildung verhindert wird. Hierbei kann es von Vorteil sein, dem Wasser-Flüssigkeitsstrom mindestens ein die Kristallisationstemperatur des Wassers herabsetzenden Stoff zuzusetzen. Geeignete Stoffe sind beispielsweise ein- oder mehrwertige Alkohole, wie Methanol, Ethanol oder Ethylenglykol.

Des weiteren kann es vorteilhaft sein, dem Wasser- oder/und dem Dieselöl-Flüssigkeitsstrom mindestens ein die Kraftstoffeigenschaften verbessernden Stoff, wie beispielsweise Additive gegen Ablagerungen, zuzusetzen.

Nach einer Verwendung wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Emulsion als Kraftstoff aus Dieselöl und einer nicht mit Dieselöl mischbaren Flüssigkeit oder Flüssigkeitsgemisches eingesetzt. Hierzu wird statt eines Wasser-Flüssigkeitsstromes ein Flüssigkeitsstrom der bzw. des nicht mit Dieselöl mischbaren Flüssigkeit oder Flüssigkeitsgemisches, beispielsweise eines oder mehrerer ein- oder mehrwertiger Alkohole, wie Ethanol oder Butanol, eingesetzt.

Nach einer weiteren Verwendung wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Emulsion als Kraftstoff eingesetzt, wobei anstelle von Dieselöl ein oder mehrere andere flüssige Brennstoffe, beispielsweise Kohlenwasserstoffe, wie Benzin, Kerosin, Petrolether, Flüssiggas, aliphatische oder aromatische Nitroverbindungen, verwendet werden.

Besonders vorteilhaft wird das Verfahren direkt im Bereich der Kraftstoffzufuhreinrichtung einer Verbrennungskraftmaschine, beispielsweise eines Kraftfahrzeug-Diesel-Motors, eingesetzt. Das Wasser-zu-Dieselöl-Volumenverhältnis kann hierbei, beispielsweise unter Verwendung einer elektronischen Steuerung, im Hinblick auf die momentane Belastung und/oder Abgaswerte der Verbrennungskraftmaschine eingestellt werden.

Varianten des erfindungsgemäßen Verfahrens werden nachfolgend anhand von schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 das bekannte Prinzip des Aufspaltens zweier Fluidströme in Fluidlamellen,

Fig. 2 das Prinzip des Aufspaltens eines Fluidstromes in Fluidlamellen und Zusammenführens mit einem Fluidstrom,

Fig. 3 den Gehäuseboden, das Mischelement und den Gehäusedeckel eines bekannten Mikrovermischers getrennt voneinander in perspektivischer Darstellung,

Fig. 4a den Mikrovermischer nach Fig. 3 geschnitten durch die Ebene der Einlässe und des Auslasses,

Fig. 4b einen das Element mit Spalt darstellenden Ausschnitt aus Fig. 4a,

Fig. 5 den Übergang von parallelen Fluidlamellen über sich fragmentierende Fluidlamellen zu Fluidtröpfchen nach dem Mikrovermischer nach Fig. 3,

Fig. 6a einen Mikrovermischer mit längs zum Spalt bewegbarem und an einen Ultraschallgeber gekoppeltem Mischelement geschnitten von der Seite,

Fig. 6b den Mikrovermischer nach Fig. 6a mit abgenommenem Gehäusedeckel in Draufsicht,

Fig. 6c den Übergang von parallelen Fluidlamellen über sich fragmentierende Fluidlamellen zu Fluidtröpfchen nach dem Mikrovermischer nach Fig. 6a,

Fig. 7a einen Mikrovermischer mit quer zum Spalt bewegbarem und an einem Ultraschallgeber gekoppeltem Mischelement geschnitten von der Seite,

Fig. 7b den Mikrovermischer nach Fig. 7a mit abgenommenem Gehäusedeckel in Draufsicht,

Fig. 7c den Übergang von parallelen Fluidlamellen über sich fragmentierende Fluidlamellen zu Fluidtröpfchen nach dem Mikrovermischer nach Fig. 7a,

Fig. 8 einen Mikrovermischer mit Elektroden zur Unterstützung der Fragmentation geschnitten von der Seite,

Fig. 9 Diagramm der mit dem Mikrovermischer nach Fig. 3 erhaltenen Wasser-Tröpfchengrößenverteilung in Dieselöl.

In Fig. 1 ist ein bekanntes Prinzip zum Aufspalten zweier Fluidströme 2, 4 der Fluide A, B in Fluidlamellen 3a, 3b, . . . bzw. 5a, 5b, . . . dargestellt. Hierzu ist in einem Mischelement 12 ein Bereich der Zuführung 16 des Fluids A in Kanäle 19a, 19b, . . . zur Bildung von Fluidlamellen unterteilt. Ein gegenüberliegender Bereich der Zuführung 17 des Fluids B ist ebenfalls in Kanäle 20a, 20b, . . . zur Bildung von Fluidlamellen unterteilt, wobei die Kanäle 20a, 20b, . . . zwischen den Kanälen 19a, 19b, . . . angeordnet sind und zusammen eine sogenannte Interdigitalstruktur 13 bilden. Oberhalb der Interdigitalstruktur 13 des Mischelementes 12 ist ein weiteres, hier nicht dargestelltes Element angeordnet, das alle Bereiche des Mischelementes 12 bis auf einen über der Interdigitalstruktur 13 liegenden, hier mit gestrichelten Linien angedeuteten Spalt 22 abdeckt. Die Lamellen 3a, 3b, . . . , 5a, 5b, . . . der Fluide A und B strömen benachbart zueinander durch den Spalt in einen darüberliegenden, hier nicht dargestellten Vermischungsbereich.

Bei dem bekannten System Silikonöl-Wasser wurde gefunden, daß die Silikonöl-Fluidlamellen beim Zusammenführen mit den Wasser-Fluidlamellen zu Silikonöl-Tröpfchen fragmentieren und eine Emulsion von Silikonöl-Tröpfchen in einer kontinuierlichen Wasser-Phase erhalten wird. Diese Emulsionen waren bei Volumenverhältnissen von Wasser zu Dieselöl von größer 1 : 1 feindispers, bei kleineren Volumenverhältnissen jedoch mit sehr breiter Verteilung der Größen der Silikonöl-Tröpfchen.

Entgegen diesen bekannten Erfahrungen ergaben neue Experimente mit Wasser-Dieselöl-Systemen überraschenderweise feindisperse Emulsionen von Wassertröpfchen in einer kontinuierlichen Dieselöl-Phase, insbesondere bei den für Kraftstoffen gewünschten Volumenverhältnissen von Wasser zu Dieselöl von kleiner als 1 : 1.

Nach einer anderen Verfahrensvariante wird nur der Wasser-Flüssigkeitsstrom in Fluidlamellen aufgespalten und diese in einen Dieselöl-Fluidstrom eingeleitet, wobei eine Fragmentation der einzelnen Wasser-Fluidlamellen in Wassertröpfchen stattfindet. Drei entsprechende Elemente 41, 42, 51 eines Mikrovermischers sind in Fig. 2 schematisch voneinander getrennt und in perspektivischer Darstellung gezeigt. In dem Mischelement 42 befindet sich eine Zuführung 46 für den Wasser-Flüssigkeitsstrom, der dem Element 42 durch eine hier nicht dargestellte Bohrung von unten zugeführt wird. Die Zuführung 46 ist im rechten Bereich in Kanäle 49a, 49b, . . . zur Bildung von Fluidlamellen aufgeteilt. Auf diesem Element 42 ist ein Element 51 mit einem Spalt 52 derart angeordnet, daß der Spalt 52 sich über einen Bereich der Kanäle 49a, 49b, . . . erstreckt. Auf dem Element 51 wiederum ist ein Element 41 mit einer Zuführung 47 für den Dieselöl-Fluidstrom, einem Vermischungsbereich 48 und einer Abführung 43 derart angeordnet, daß der Vermischungsbereich 48 sich oberhalb des Spalts 52 befindet. Der Übersichtlichkeit halber sind die Elemente 41, 42, 51 nicht aufeinander, sondern voneinander getrennt dargestellt. Die Zuführung 47 und der Vermischungsbereich 48 sind als durch das Element 41 hindurchgehende Ausnehmungen ausgebildet. Erst durch die Anordnung des Elements 41 auf dem Element 51 sowie durch eine hier nicht dargestellte, Durchgangsöffnungen für die Zu- und Abführung aufweisende Deckplatte, die auf dem Element 41 anzuordnen ist, werden aus dem Zuführungsbereich 47 und dem Vermischungsbereich 48 kammerartige Kanäle gebildet. Zur Erzielung eines über alle Kanäle 49a, 49b, . . . gleichen Flusses sind Mikrokanäle ausreichenden Druckverlustes und ein Spalt 52 vorzusehen. Um eine Vereinigung der in den Kanälen 49a, 49b, . . . erzeugten Wasser-Fluidlamellen zu vermeiden, ist das Element 51 mit dem Spalt 52 in einer möglichst geringen Dicke, beispielsweise als geschlitzte Folie, ausgebildet. Es ist auch denkbar, ein statt eines quer über alle Kanäle 49a, 49b, . . . verlaufenden Spaltes 52 Einzelspalte derart vorzusehen, daß diese jeweils genau über einem Kanal 49a, 49b, . . . zu liegen kommen und die benachbarten Stegbereiche abdecken. Das Element 51 kann auch einstückiger Bestandteil des Elements 41 sein.

Ein bekannter Mikrovermischer 1, der nach dem zu Fig. 1 erläuterten Prinzip arbeitet, ist in Fig. 3 dargestellt, wobei der Übersichtlichkeit halber drei Teile, der Gehäuseboden 10a, das Mischelement 12 und der Gehäusedeckel 10b, getrennt voneinander perspektivisch dargestellt sind.

Das Mischelement 12 weist zwei Zuführungen 16 und 17 sowie eine zwischen beiden angeordnete Interdigitalstruktur 13 zur Bildung von Fluidlamellen auf. Das Mischelement 12 ist in eine entsprechende Ausnehmung 11 im Gehäuseboden 10a einsetzbar. Der Gehäusedeckel 10b weist zwei Einlässe 14, 15 auf, die in Bohrungen zur Zu- und Abführung 16, 17 übergehen, die der entsprechenden Zu- und Abführung 16, 17 des Mischelementes 12 gegenüberliegen. In den Boden des Gehäusedeckels 10b ist ein Element 21 mit einem Spalt 22 derart angeordnet, daß der Spalt 22 über der Interdigitalstruktur 13 des Mischelementes 12 zu liegen kommt. Im Gehäusedeckel 10b und oberhalb des Spalts 22 und mit diesem verbunden ist ein hier gestrichelt angedeuteter Vermischungsbereich 18 angeordnet, in dem die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen zu Wassertröpfchen in einer Dieselöl-Phase stattfindet. Der Vermischungsbereich 18 geht in eine ebenfalls gestrichelt angedeutete Abführung 23 über, die mit dem Auslaß 24 verbunden ist. Zur Abdichtung zum Gehäuseboden 10a ist in den Boden des Gehäusedeckels 10b eine Ringnut 27 zur Aufnahme einer O-Ringdichtung eingearbeitet. Zur Positionierung von Gehäusedeckel 10b und -boden 10a zueinander weist der Gehäuseboden 10a auf seiner Oberseite zwei Paßstifte 28a auf, die in entsprechende Bohrungen 28b in der Unterseite des Gehäusedeckels 10b passen. Mittels vier hier nicht dargestellter Schrauben kann der Gehäusedeckel 10b gegen den Gehäuseboden 10a verspannt werden, wozu im Boden 10a vier mit Gewinde versehene Bohrungen 29 und im Gehäusedeckel 10b entsprechende vier Durchgangsbohrungen 30 vorgesehen sind.

In Fig. 4a ist der Mikrovermischer 1 nach Fig. 3 geschnitten durch die die Einlässe 14, 15 und den Auslaß 24 erfassende Ebene dargestellt. Zur besseren Übersicht wurde auf die Darstellung von Details sowie eine Strichelung der geschnittenen Flächen verzichtet. Im Gegensatz zur Fig. 3 sind der Gehäusedeckel 10b und der Gehäuseboden 10a mit eingesetztem Mischelement 12 verbunden miteinander dargestellt. In Fig. 4b ist ein den Spalt 22 und den sich anschließenden Vermischungsbereich 18 umfassender Ausschnitt dargestellt.

Die Bildung von Wassertröpfchen 6a, 6b, . . . in einer kontinuierlichen Dieselöl-Phase 7 ist in den drei Zeichnungen der Fig. 5 schematisch vereinfacht dargestellt. Unmittelbar hinter dem in den vorherigen Figuren dargestellten Spalt und im Vermischungsbereich liegen Wasser-Fluidlamellen 3a, 3b, . . . in einem Dieselöl-Flüssigkeitsstrom vor, hier ebenfalls in Form von Fluidlamellen 5a, 5b, . . . In einem als Fragmentation bezeichneten Vorgang bilden sich in den Fluidlamellen 3a, 3b, . . . , 5a, 5b, . . . Bereiche mit in Strömungsrichtung variierender Dicke aus, was in der mittleren Zeichnung dargestellt ist. Dieser Vorgang findet schließlich seinen Abschluß in der Ausformung von Wassertröpfchen 6a, 6b, . . . in einer kontinuierlichen Dieselöl-Phase 7 (obere Zeichnung).

Der Vorgang der Fragmentation kann gezielt durch die Anwendung von mechanischen Schwingungen, wie Ultra-

schall, unterstützt werden. Hierfür geeignete Mikrovermischer sowie die damit verbundenen Vorgänge der Fragmentation sind in den Fig. 6a–c und 7a–c dargestellt.

In der Fig. 6a ist ein Mikrovermischer 60 mit einem mechanischen Schwingungsgeber in Form eines Ultraschallgebers 65 geschnitten von der Seite dargestellt. Die Schnittebene verläuft senkrecht zu der in der Fig. 4a gezeigten Schnittebene und verläuft durch den Auslaß 64 und parallel durch den Spalt 63. Das Mischelement 62 ist in einer Ausnehmung 61 des Gehäusebodens 60a bewegbar angeordnet, wobei die mögliche Bewegungsrichtung durch den Doppelpfeil angedeutet ist. Das Mischelement 62 ist über einen Stift 66 mit dem hier nur schematisch angedeuteten Ultraschallgeber 65 verbunden, wobei der Stift durch eine Durchgangsöffnung 67 durch den Gehäuseboden 60a geführt ist. Bis auf die mit der Bewegbarkeit des Mischelements 62 verbundenen Merkmale weist dieser Mikrovermischer 60 den gleichen Aufbau auf, wie der zuvor dargestellte Mikrovermischer 1.

Der Mikrovermischer 60 ist in Fig. 6b mit entferntem Gehäusedeckel 60b in Draufsicht von oben dargestellt. Zu erkennen ist die Interdigitalstruktur 68 in dem Mischelement 62 zur Bildung der Fluidlamellen. Das Mischelement 62 ist so über den Stift 66 mit dem Ultraschallgeber 65 verbunden und so in der Ausnehmung 61 angeordnet, daß das Mischelement 62 senkrecht zur durch die Interdigitalstruktur 68 vorgegebene Strömungsrichtung der Fluidlamellen und damit parallel zur Ausrichtung des Spalts 63 bewegbar ist.

Wie die Bildung von Wassertropfchen 72a, 72b, . . . in einer kontinuierlichen Dieselöl-Phase 73 in solch einem Mikrovermischer 60 erfolgt, ist in den zwei Zeichnungen der Fig. 6c vereinfacht dargestellt. Aufgrund der periodischen Bewegung des Mischelements 62 verlaufen die Fluidlamellen des Wassers 70a, 70b, . . . und des Dieselöls 71a, 71b, . . . nicht geradlinig, sondern wellenförmig. Durch diesen wellenförmigen Verlauf, d. h. durch die regelmäßige Verschiebung der Fluidlamellen gegeneinander, ist der Vorgang der Fragmentation schon gezielt vorgegeben. Aus den seitlich gegeneinander verschobenen Lamellen bilden sich schließlich Wassertropfchen 72a, 72b, . . . in einer kontinuierlichen Dieselöl-Phase 73.

Ein weiterer Mikrovermischer 80 mit bewegbarem Mischelement 62 ist in Fig. 7a geschnitten von der Seite dargestellt. Die Schnittebene verläuft senkrecht zu der in Fig. 6a gezeigten Schnittebene und sowohl durch die beiden Einlässe 81 und 82 als auch senkrecht zum Spalt 63. Zum einfacheren Vergleich wurden in den Fig. 7a–c für Elemente mit gleicher Funktion die gleichen Bezugszeichen wie in Fig. 6a–c verwendet. Wie auch aus der Fig. 7b, in der der Mikrovermischer 80 mit abgenommenem Gehäusedeckel in Draufsicht dargestellt ist, zu erkennen ist, ist das Mischelement 62 in einer Ausnehmung 61 im Gehäuseboden 60a parallel zu der durch die Interdigitalstruktur 68 vorgegebenen Strömungsrichtung der Fluidlamellen bewegbar angeordnet und entsprechend über einen Stift 66 mit einem Ultraschallgeber 65 verbunden. Der Stift 66 wird in einer Durchgangsöffnung im Gehäuseboden 60a geführt. Das Mischelement 62 kann also mit einer periodischen Bewegung parallel zur Strömungsrichtung und damit senkrecht zur Ausrichtung des Spalts 63 beaufschlagt werden.

Der Vorgang der Fragmentation hin zu Wassertropfchen 72a, 72b, . . . ist in den zwei Zeichnungen der Fig. 7c schematisch vereinfacht dargestellt. Die Bewegung des Mischelements 62 erfolgt parallel zur Strömungsrichtung der Fluidlamellen, d. h. die Interdigitalstruktur 68 wird unterhalb des Spalts 63 periodisch in Richtung der Zuführung des Wassers und des Dieselöls hin und her bewegt. Aufgrund der in den Kanälen der Interdigitalstruktur 68 herrschenden Druckdifferenz wird bei der Auslenkung des Mischelements 62 in Richtung Wasser-Zuführung ein größerer Volumenstrom an Wasser-Fluidlamellen 70a, 70b, . . . und bei Auslenkung in Richtung Dieselöl-Zuführung ein größerer Volumenstrom an Dieselöl-Fluidlamellen 71a, 71b, . . . durch Spalt 63 geleitet. Die so resultierende Form der Fluidlamellen ist in der unteren Zeichnung in Fig. 7c dargestellt. Die durch eine Abschnürung von Bereichen der Fluidlamellen gezielt vorgegebene Fragmentation führt zur Bildung Wassertropfchen 72a, 72b, . . . in einer Dieselöl-Phase 73.

Ein weiterer erfindungsgemäßer Mikrovermischer 90, bei dem die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen durch Anlegen eines elektrischen Feldes unterstützt wird, zeigt Fig. 8 im Schnitt von der Seite. Dieser Mikrovermischer 90 weist den gleichen Aufbau wie der Mikrovermischer 1 nach den Fig. 3, 4a und 4b auf. Das Mischelement 93 und der Auslaß 94, hier durch kreuzartige Schraffierung hervorgehoben, sind über elektrische Zuleitungen 95a, 95b mit einer Spannungsquelle 96 verbunden. Das Mischelement 93 ist zum Gehäusedeckel 92 und zum Gehäuseboden 91 sowie der Auslaß 94 zum Gehäusedeckel 92 elektrisch isoliert. Durch Anlegen einer ausreichend hohen Spannungsdifferenz zwischen dem Auslaß 94 und dem Mischelement 93, die sowohl von der Geometrie des Mikrovermisers als auch von den verwendeten Fluiden abhängt, kann die Fragmentation gezielt unterstützt werden. Hiermit können insbesondere kleine Tropfchengrößen erzielt werden.

#### Ausführungsbeispiel

Wasser-in-Dieselöl-Emulsionen wurden nach dem erfindungsgemäßen Verfahren unter Verwendung des in Fig. 3 dargestellten Mikromischers 1 hergestellt. In der Interdigitalstruktur 13 des Mischelements 12 weisen die jeweils 18 Kanäle 19a, 19b, . . . , 20a, 20b, . . . eine Breite von 25 µm und eine Tiefe von 300 µm auf. Das über der Interdigitalstruktur 13 angeordnete Element 21 wies einen Spalt einer Breite von 60 µm und einer Länge von 2 mm auf. Der Volumenfluß des Dieselöl-Flüssigkeitsstroms wurde mit 600 ml/h konstant gehalten. Der Volumenfluß des Wasser-Flüssigkeitsstroms wurde auf die in der folgenden Tabelle aufgeführten Werte eingestellt.



Volumenfluß Wasser [ ml / h ]	Volumenverhältnis Wasser : Dieselöl	Wassergehalt der Emulsion in Vol.-%
18	1 : 33	3
30	1 : 20	5
60	1 : 10	9
120	1 : 5	17

Die Emulsionen wurden bei einer Temperatur von 22°C und ohne die Verwendung eines Emulgators hergestellt.

Bei dem Mischungsverhältnis 1 : 20 wurde eine mittlere Wasser-Tröpfchengröße von etwa 5 µm bei einer Standardabweichung von 2,5 µm erzielt, d. h. 68,3% der Tröpfchen wies eine Größe im Bereich von 5 µm ± 2,5 µm auf. Die Fig. 9 zeigt die zu diesem Beispiel erhaltene, mit einem Lichtmikroskop bestimmte Größenverteilung der Wassertröpfchen in der Dieselöl-Phase. Das Maximum liegt bei einem Tröpfchendurchmesser von 5 µm. Etwa 90% der Wassertröpfchen weisen einen Durchmesser im Bereich von 1 µm bis 8 µm auf.

#### Bezugszeichenliste

1 Mikrovermischer	
2 Wasser-Flüssigkeitsstrom	25
3a, 3b, ... Wasser-Fluidlamelle	
4 Dieselöl-Flüssigkeitsstrom	
5a, 5b, ... Dieselöl-Fluidlamelle	
6a, 6b, ... Wasser-Tröpfchen	
7 kontinuierliche Phase Dieselöl	30
10a Gehäuseboden	
10b Gehäusedeckel	
11 Ausnehmung	
12 Mischelement	
13 Interdigitalstruktur	35
14 Einlaß für Wasser-Flüssigkeitsstrom	
15 Einlaß für Dieselöl-Flüssigkeitsstrom	
16 Zuführung für Wasser-Flüssigkeitsstrom	
17 Zuführung für Dieselöl-Flüssigkeitsstrom	
18 Vermischungsbereich	40
19a, 19b, ... Kanal für Wasser-Fluidlamelle	
20a, 20b, ... Kanal für Dieselöl-Fluidlamelle	
21 Element mit Spalt	
22 Spalt	
23 Abführung	45
24 Auslaß	
27 O-Ring-Nut	
28a Paßstift	
28b Bohrung	
29 Bohrung mit Gewinde	50
30 Bohrung	
41 Element mit Vermischungsbereich	
42 Mischelement	
43 Abführung	
46 Zuführung für Wasser-Flüssigkeitsstrom	55
47 Zuführung für Dieselöl-Flüssigkeitsstrom	
48 Vermischungsbereich	
49a, 49b, ... Kanäle für Wasser-Fluidlamellen	
51 Element mit Spalt	
52 Spalt	60
60 Mikrovermischer	
60a Gehäuseboden	
60b Gehäusedeckel	
61 Ausnehmung	
62 Mischelement	65
63 Spalt	
64 Auslaß	
65 Ultraschallgeber	



- 66 Stift
- 67 Durchgangsöffnung
- 68 Interdigitalstruktur
- 70a, 70b, . . . Wasser-Fluidlamelle
- 5 71a, 71b, . . . Dieselöl-Fluidlamelle
- 72a, 72b, . . . Wassertröpfchen
- 73 kontinuierliche Dieselöl-Phase
- 80 Mikrovermischer
- 81 Einlaß für Wasser-Flüssigkeitsstrom
- 10 82 Einlaß für Dieselöl-Flüssigkeitsstrom
- 90 Mikrovermischer
- 91 Gehäuseboden
- 92 Gehäusedeckel
- 93 Mischelement
- 15 94 Auslaß
- 95a, 95b, . . . elektrische Zuleitungen
- 96 Spannungsquelle

#### Patentansprüche

- 20 1. Verfahren zur Herstellung einer Wasser-in-Dieselöl-Emulsion als Kraftstoff, das folgende Schritte umfaßt:
  - a) Aufspalten eines Wasser-Flüssigkeitsstroms in räumlich getrennte Wasser-Fluidlamellen einer Breite < 100 µm,
  - 25 b) Leiten der Wasser-Fluidlamellen in mindestens einen Dieselöl-Flüssigkeitsstrom, wobei eine Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen in Wassertröpfchen stattfindet.
- 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Einleiten der Wasser-Fluidlamellen der Dieselöl-Flüssigkeitsstrom in Fluidlamellen einer Breite < 1 mm aufgespalten wird, wobei jeweils eine Wasser-Fluidlamelle mit jeweils mindestens einer Dieselöl-Fluidlamelle zusammengeführt wird.
- 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Wasser-Fluidlamellen und mehrere Dieselöl-Fluidlamellen derart gemeinsam in einen Raum geleitet werden, daß jeweils eine Wasser-Fluidlamelle benachbart mit mindestens einer Dieselöl-Fluidlamelle in diesen Raum austritt.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Wasser-Fluidlamellen < 50 µm, vorzugsweise < 10 µm, ist.
- 5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Dieselöl-Fluidlamelle < 500 µm, vorzugsweise < 100 µm, ist.
- 35 6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe der Wasser- oder/und Dieselöl-Fluidlamellen größer gleich der Breite der entsprechenden Fluidlamellen, vorzugsweise > 250 µm, ist.
- 7. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumenverhältnis des Wasser-Flüssigkeitsstroms zum Dieselöl-Flüssigkeitsstrom im Bereich von 1 : 1000 bis 1 : 1, vorzugsweise von 1 : 500 bis 1 : 3, beträgt.
- 40 8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Wasser-Fluidlamelle einen Volumenfluß im Bereich von 150 bis 0,1 ml/h, vorzugsweise von 75 bis 15 ml/h, aufweist.
- 9. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen in Wassertröpfchen durch Anwendung von mechanische Schwingungen unterstützt wird.
- 45 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Fragmentation durch mechanische Schwingungen derart unterstützt wird, daß zumindest Bereiche des Dieselöl-Flüssigkeitsstroms oder/und der Wasser-Fluidlamellen oder/und der Dieselöl-Fluidlamellen oder/und der Wasser-in-Diesel-Emulsion mechanisch mit Schwingung beaufschlagt werden.
- 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanische Schwingung derart erfolgt, daß eine periodische Auslenkung parallel oder senkrecht zur Strömungsrichtung der Wasser-Fluidlamellen oder/und der Dieselöl-Fluidlamellen bewirkt wird.
- 50 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der mechanischen Schwingungen bei gegebener Strömungsgeschwindigkeit des Wasser-Flüssigkeitsstroms und/oder des Dieselöl-Flüssigkeitsstroms im Hinblick auf die zu erzielende Größe der Wassertröpfchen gewählt wird.
- 55 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, gekennzeichnet durch mechanische Schwingungen im Frequenzbereich von 1 kHz bis 100 kHz, vorzugsweise von 10 kHz bis 50 kHz.
- 14. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen durch Anlegen eines elektrischen Feldes unterstützt wird.
- 15. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fragmentation der Wasser-Fluidlamellen durch ein Gas in dem Wasser-Flüssigkeitsstrom, in dem Dieselöl-Flüssigkeitsstrom, in den entsprechenden Fluidlamellen oder/und in den Wasser-in-Diesel-Emulsion dadurch unterstützt wird, daß hierzu das Gas eingeleitet oder/und eine niedrig siedende, bei Verdampfung das Gas bildende Flüssigkeit oberhalb ihres Siedepunktes verwendet wird.
- 60 16. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Wasser- oder/und Dieselöl-Flüssigkeitsstrom mindestens ein die Emulsion stabilisierender, die Kraftstoffeigenschaften verbessernder oder/und die Kristallisationstemperatur des Wassers herabsetzender Stoff zugesetzt wird.
- 65 17. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16 zur Herstellung einer Emulsion als Kraftstoff, wobei anstelle von Wasser eine andere Flüssigkeit oder ein anderes Flüssigkeitsgemisch, die bzw. das nicht mit

# DE 199 17 156 A 1

Dieselöl mischbar ist, verwendet wird.

18. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17 zur Herstellung einer Emulsion als Kraftstoff, wobei anstelle von Dieselöl ein oder mehrere andere flüssige Brennstoffe verwendet werden.

19. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 im Bereich der Kraftstoffzufuhreinrichtung einer Verbrennungskraftmaschine.

5

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

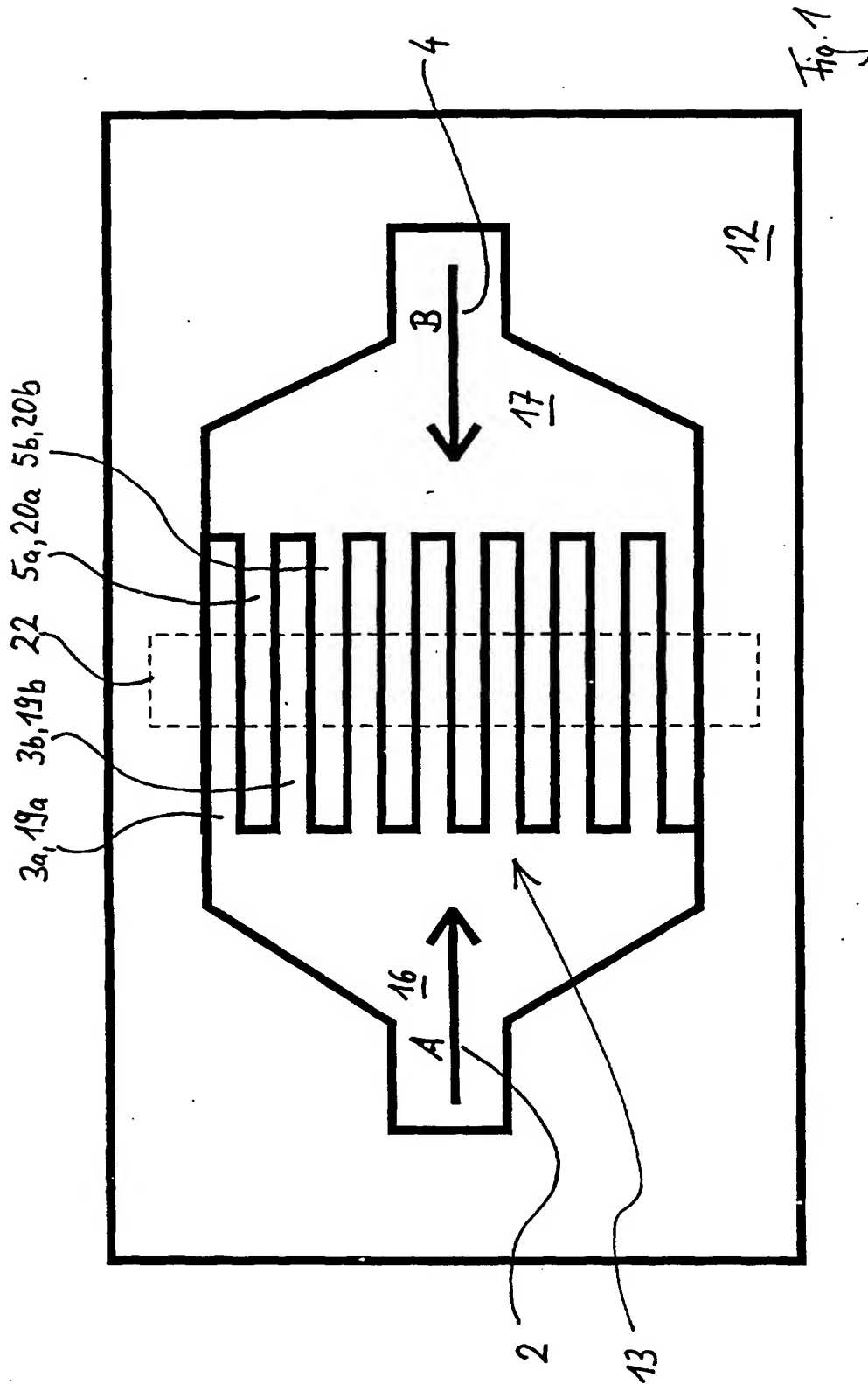
50

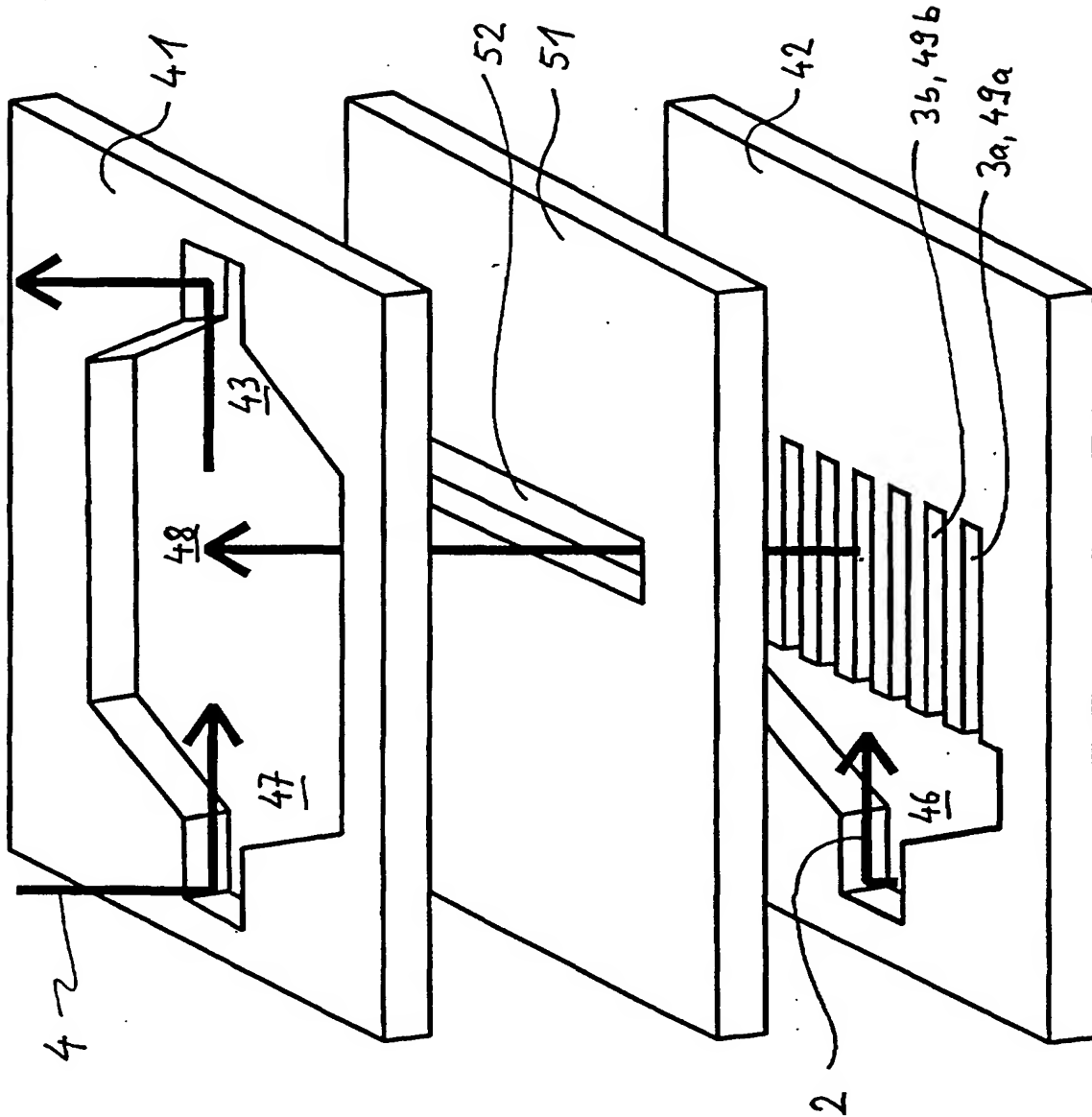
55

60

65

- Leerseite -





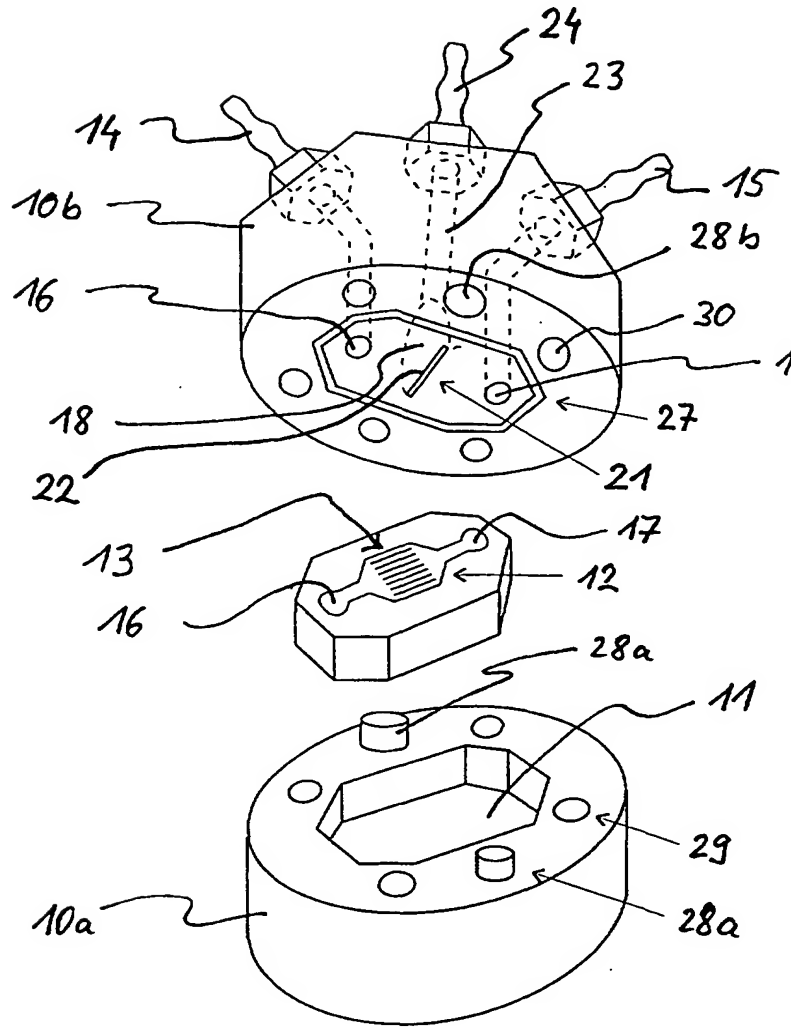


Fig. 3

1 ↗

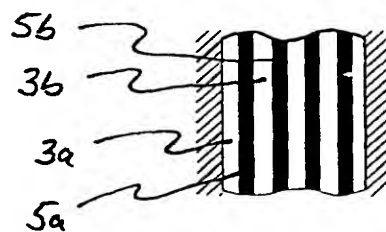
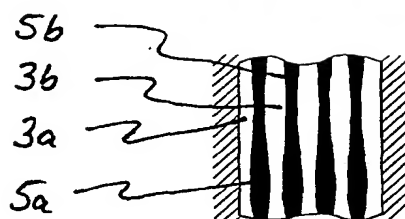
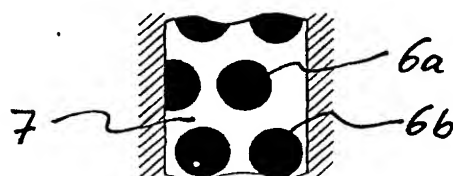
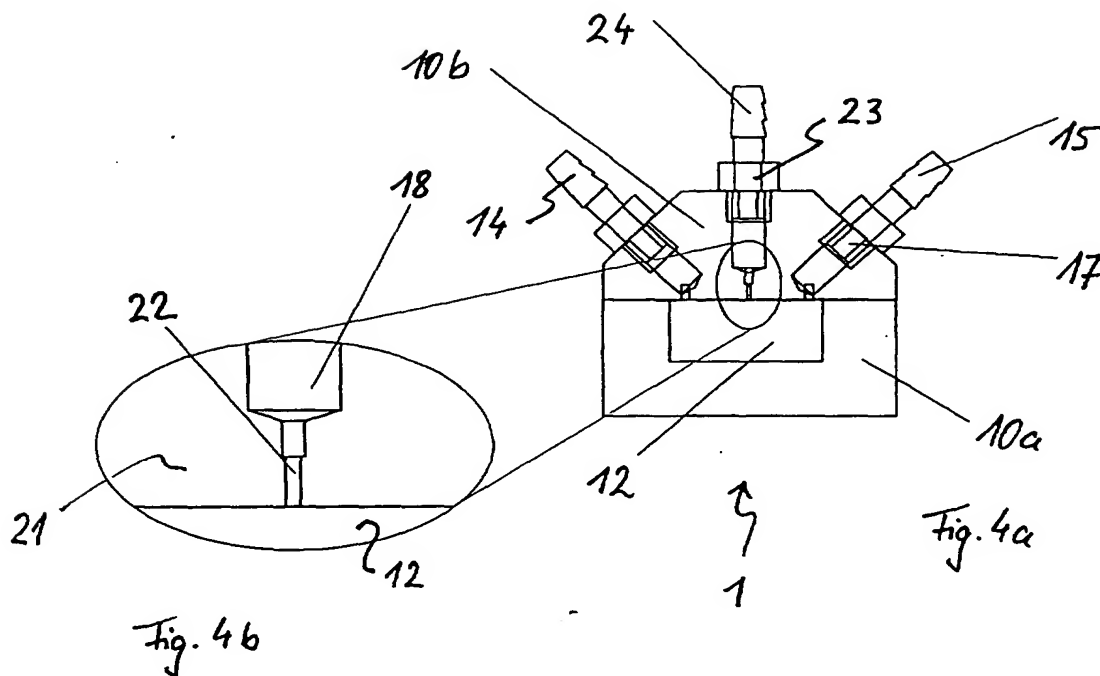


Fig. 5



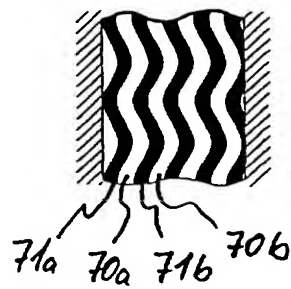
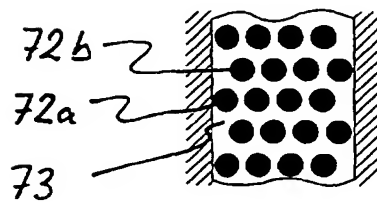
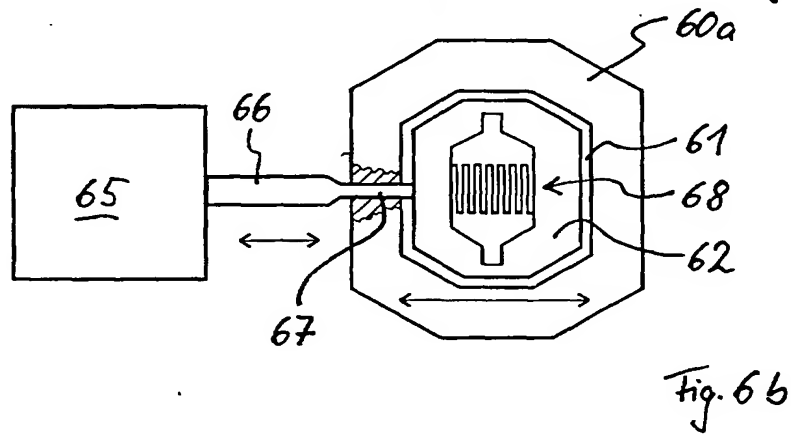
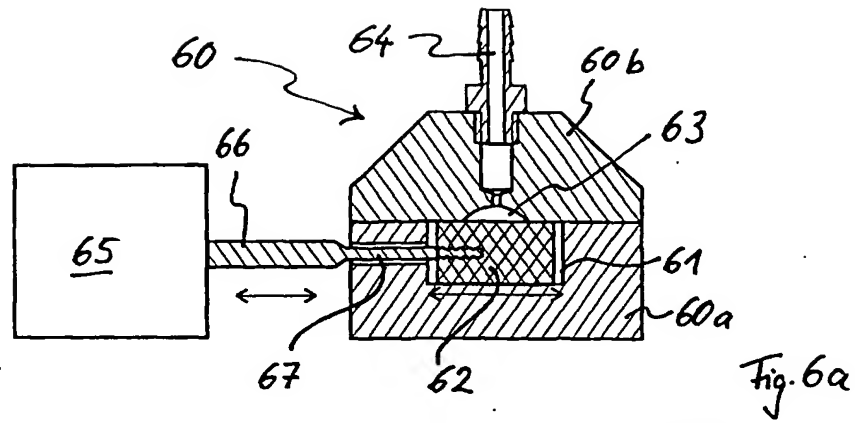
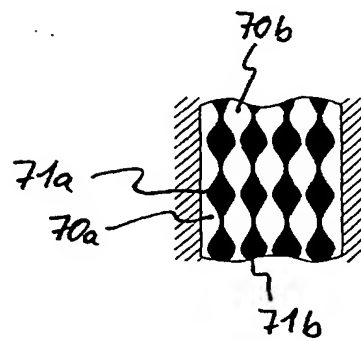
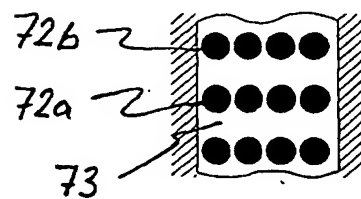
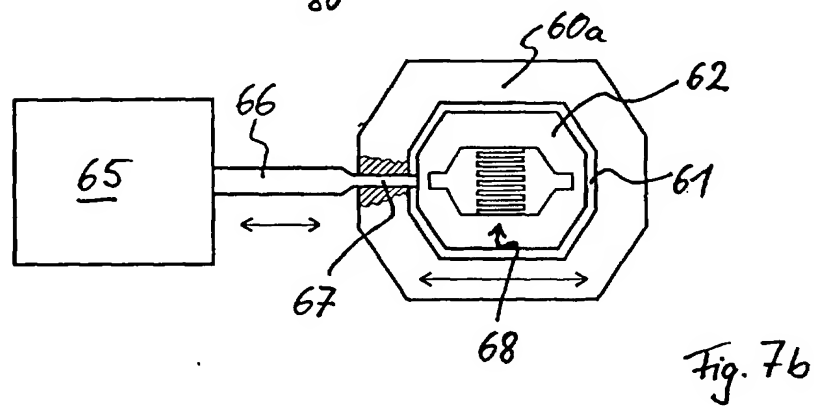
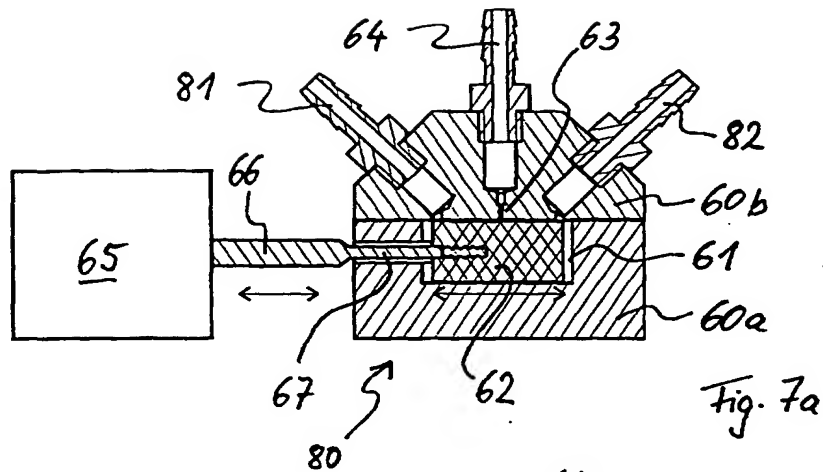
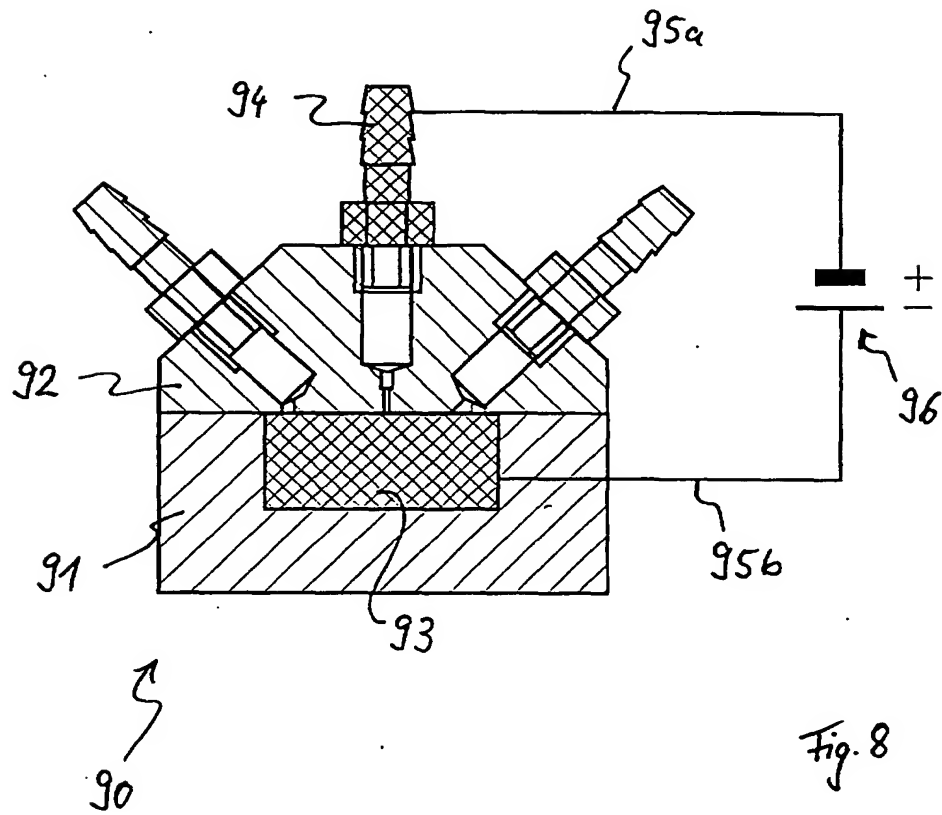


Fig. 6c



# Mikromischer mit Elektroden



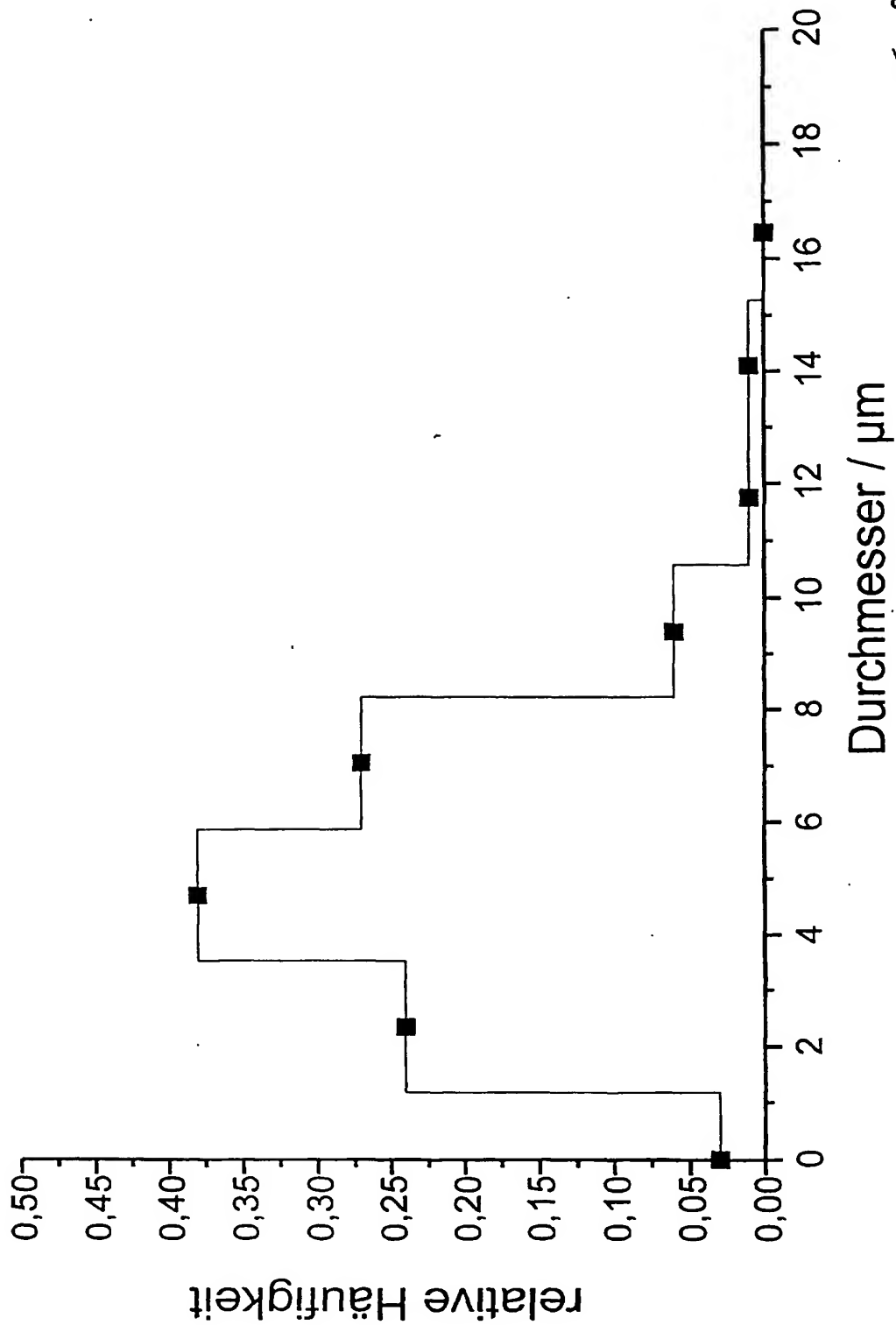


Fig. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**